



Interciencia

ISSN: 0378-1844

interciencia@ivic.ve

Asociación Interciencia

Venezuela

Flores Macías, Antonio; Galvis Spinola, Arturo; Hernández Mendoza, Teresa Marcela; De León
González, Fernando; Payán Zelaya, Fidel
Efecto de la adición de zeolita (clinoptilolita y mordenita) en un andosol sobre el ambiente químico
edáfico y el crecimiento de avena
Interciencia, vol. 32, núm. 10, octubre, 2007, pp. 692-696
Asociación Interciencia
Caracas, Venezuela

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33901008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ZEOLITA (CLINOPTILOLITA Y MORDENITA) EN UN ANDOSOL SOBRE EL AMBIENTE QUÍMICO EDÁFICO Y EL CRECIMIENTO DE AVENA

Antonio Flores Macías, Arturo Galvis Spinola, Teresa Marcela Hernández Mendoza, Fernando De León González y Fidel Payán Zelaya

RESUMEN

Entre las zeolitas, la clinoptilolita y la mordenita se distinguen por su utilidad en la agricultura, debido a que al entrar en contacto con el amonio del medio lo retienen en su estructura interna y externa, funcionando entonces como un fertilizante nitrogenado de lenta liberación. Se estudió el efecto de la zeolita Z_{CU} (clinoptilolita y mordenita) en la producción de biomasa vegetal y el ambiente químico del suelo, empleando la avena como cultivo indicador. Se evaluaron cinco concentraciones de Z_{CU} en suelo (0, 5, 10, 20 y 30% peso base seca del suelo) y un tratamiento adicio-

nal preparado solo con Z_{CU} . Las variables evaluadas fueron biomasa aérea y de raíces, pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC), NH_4^+ sustrato y NO_3^- lixiviado. La aplicación de Z_{CU} tuvo un efecto positivo sobre la producción de la biomasa aérea y de raíces y modificó el ambiente químico edáfico en sus valores de pH y CIC. La aplicación de Z_{CU} provocó una menor acumulación de NO_3^- lixiviado en relación a la cantidad de NH_4^+ en sustrato. Los resultados apoyan que la Z_{CU} tiene capacidad para adsorber amonio y aminorar el proceso de nitrificación.

EFFECT OF ZEOLITE (CLINOPTILOLITE AND MORDENITE) AMENDED ANDOSOLS ON SOIL CHEMICAL ENVIRONMENT AND GROWTH OF OAT

Antonio Flores Macías, Arturo Galvis Spinola, Teresa Marcela Hernández Mendoza, Fernando De León González and Fidel Payán Zelaya

SUMMARY

Among zeolites, clinoptilolite and mordenite are used in agriculture because they retain ammonium in both their internal and external structure, acting as a reservoir for slowly released nitrogen fertilizer. The effect of the zeolite Z_{CU} (clinoptilolite and mordenite) on the production of vegetal biomass and the chemical properties of the soil was studied, employing oat as an indicative crop. Five concentrations of Z_{CU} in soil were evaluated (0, 5, 10, 20 y 30 % dried weight of soil) plus an additional treatment with Z_{CU}

alone. Aerial and root biomass, pH and cation-exchange capacity (CEC), NH_4^+ in the substrate and lixiviated NO_3^- were evaluated. The application of Z_{CU} had a positive effect on the production of aerial and root biomass, and also modified the soil chemical environment (pH and CEC). The application of Z_{CU} produced a lower accumulation of leached NO_3^- in relation to the amount of NH_4^+ in the substrate. The results show that Z_{CU} has the capacity to adsorb ammonium and reduce the nitrification process.

Introducción

Las zeolitas son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 Å que contienen iones (Na^+ , K^+ y Ca^{2+} , entre otros) y moléculas de agua con libertad de movimiento, lo que favorece su capacidad de intercambio iónico con el medio circundante. Estos minerales se encuentran

en las rocas sedimentarias, variando significativamente en sus propiedades físicas y químicas. Entre los diferentes tipos de zeolitas, la clinoptilolita y la mordenita se distinguen por su utilidad en la agricultura (Mumpton, 1983; Nus y Brauen 1991; Huang y Petrovic, 1994; Ming y Allen 2001) debido a que al reaccionar con el amonio del medio

acuoso en el que se encuentran lo retienen en su estructura interna y externa, la que presenta una gran carga aniónica, funcionando entonces como un fertilizante nitrogenado de lenta liberación. Diversos trabajos han demostrado la utilidad del uso de la zeolita, ya sea como un medio para reducir la cantidad de $N-NO_3^-$ y $N-NH_4^+$ residual en la solución

del suelo (Lewis *et al.*, 1983; Ando *et al.*, 1996), abatir la tasa de nitrificación en suelos arenosos (MacKown y Tucker, 1985) o incrementar el contenido de N_2 en el tejido vegetal (Barbarick *et al.*, 1990; Allen *et al.*, 1996; Challinor *et al.*, 1997). Sin embargo, en contraste con estos hallazgos, otros investigadores han reportado que el uso de la zeolita

PALABRAS CLAVE / Amonio / Capacidad de Intercambio Catiónico / Clinoptilolita / Evapotranspiración / Mordenita /

Recibido: 15/02/2007. Modificado: 04/09/2007. Aceptado: 07/09/2007.

Antonio Flores Macías. Ingeniero Agrónomo y Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), Xochimilco, México. Profesor Investigador, UAM, México. Dirección: Departamento de Producción Agrícola y Animal, UAM Xochimilco. Calzada del Hueso 110, Col. Villa Quietud, 04960 D.F.

México. e-mail: floresuam@prodigy.net.mx
Arturo Galvis Spinola. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, México. Doctor en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Investigador, COLPOS Montecillo, México.
Teresa Marcela Hernández Mendoza. Ingeniero Agrónomo,

Universidad Autónoma del Estado de México. Doctor en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS), México. Investigador, Universidad Autónoma de Chapingo, México.
Fernando De León González. Ingeniero Agrónomo, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, México. Docotor en Agronomía, Institut

National Agronomique, Paris-Grignon, France. Investigador UAM, Xochimilco, México.
Fidel Payán Zelaya. Ingeniero Agrónomo, UAM, México. Doctor en Agroforestería, University of Wales, RU y CATIE, Costa Rica. Investigador UAM, Xochimilco, México

EFEITO DA ADIÇÃO DE ZEOLITA (CLINOPTILOLITA E MORDENITA) EM UM ANDOSOL SOBRE O AMBIENTE QUÍMICO EDÁFICO E O CRESCIMENTO DE AVEIA

Antonio Flores Macías, Arturo Galvis Spinola, Teresa Marcela Hernández Mendoza, Fernando De León González e Fidel Payán Zelaya

RESUMO

Entre as zeolitas, a clinoptilolita e a mordenita se distinguem por sua utilidade na agricultura, devido a que ao entrar em contacto com o amônio do meio, é retido na sua estrutura interna e externa, funcionando então como um fertilizante nitrogenado de lenta liberação. Estudou-se o efeito da zeolita ZCU (clinoptilolita e mordenita) na produção de biomassa vegetal e o ambiente químico do solo, empregando a aveia como cultivo indicador. Avaliaram-se cinco concentrações de ZCU no solo (0, 5, 10, 20 e 30% peso base seca do solo) e um tratamento adicional preparado

somente com ZCU. As variáveis avaliadas foram de biomassa aérea e de raízes, pH e capacidade de intercâmbio catiônico (CIC), NH_4^+ substrato e NO_3^- lixiviado. A aplicação de ZCU teve um efeito positivo sobre a produção da biomassa aérea e de raízes e modificou o ambiente químico edáfico em seus valores de pH e CIC. A aplicação de ZCU provocou uma menor acumulação de NO_3^- lixiviado em relação a quantidade de NH_4^+ em substrato. Os resultados apóiam que a ZCU tem capacidade para absorver amônio e minimizar o processo de nitrificação.

no aumentó la concentración de N_2 en la planta (Pirella *et al.*, 1983; Nus y Brauen, 1991; Ando *et al.*, 1996; Pivert *et al.*, 1997). Seff (1996) y Ming y Allen (2001) atribuyeron estas discrepancias a una deficiente caracterización mineralógica y química de las zeolitas, lo que conduce a una selección y uso de materiales no apropiados al realizarse estudios o aplicaciones en campo. Con la finalidad de contribuir a esclarecer la función de la zeolita como fertilizante de lenta liberación, este trabajo tuvo como objetivo evaluar su efecto sobre la producción de biomasa vegetal y el ambiente químico del suelo, usando para ello la avena como cultivo indicador.

Materiales y Métodos

Características de la zeolita y condiciones experimentales

La zeolita utilizada en este trabajo (Z_{CU}) es una mezcla de mordenita (55%) y clinoptilolita (45%) extraída de yacimientos ubicados en Cuba. Los resultados de su caracterización química y mineralógica fueron reportados previamente (Flores *et al.*, 2003) y sus principales características se muestran en la Tabla I.

El experimento se realizó en macetas bajo condiciones de invernadero, preparadas mezclando cinco diferentes concentraciones de Z_{CU} en suelo (0, 5, 10, 20 y 30 % peso base seca del suelo) y un tratamiento adicional preparado

TABLA I
PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LA ZEOLITA Z_{CU}

Propiedades	Zcu	
pH en agua (relación 1:2)	8,02	
Conductividad eléctrica (dS·m ⁻¹)	0,940	
Cationes intercambiables (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	Na ⁺	54,34
	Ca ⁺⁺	86,8
	Mg ⁺⁺	23,2
	K ⁺	13,5
Densidad aparente (Mg·m ⁻³)	0,96	
Densidad real (Mg·m ⁻³)	2,24	
Capacidad de campo (% p/p)	19,5	
Punto de marchitamiento permanente (% p/p)	17,8	
Punto de saturación (% p/p)	42	
Tamaño de partícula (%)	>2,00mm	6,9
	1,00 - 1,99mm	63,2
	0,425 - 0,999mm	27,5
	<0,425mm	2,4
Capacidad de intercambio catiónico: saturación con acetato de amonio (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	142,06	
Capacidad de Intercambio catiónico: saturación con acetato de amonio modificado (cmol ⁺ ·kg ⁻¹)	176,00	

Flores *et al.*, 2003.

sólo con Z_{CU} como referencia. El arreglo utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones. Como suelo se empleó el horizonte A_p de un Andosol mólico (FAO, 1988) proveniente de la zona agrícola de Parres, Distrito Federal, México, cuyas propiedades físicas y químicas se reportan en la Tabla II.

La cantidad de fertilizante aplicada a cada maceta fue de 1,7g de urea ($135\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), 1,36g de superfosfato de calcio triple ($49,7\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) y 0,8g de KCl ($63,6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Las mezclas suelo- Z_{CU} se prepararon de la manera siguiente: la Z_{CU} , el suelo y el fertilizante fueron colocados en un recipiente cilíndrico rotativo de plástico

de 20 litros, girándolo manualmente durante 5min con el fin de homogeneizar la mezcla. El sustrato resultante fue depositado en macetas de 20cm de diámetro por 18cm de profundidad (4,5 litros). Se colocó papel filtro de calibre 20 en el fondo de la maceta con la finalidad de evitar la pérdida de suelo a través de los orificios de drenaje. Las mezclas de Z_{CU} con el suelo fueron evaluadas en un arreglo completamente al azar con cuatro repeticiones. Se sembraron ocho plantas de avena (*Avena sativa*) variedad Chihuahua por maceta (equivalente a 636435 plantas por ha).

Las macetas fueron mantenidas aproximadamente a

TABLA II
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ANDOSOL MÓLICO

Propiedad	Valor
pH en agua (1:2)	5,6
CIC ($\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$)	10,7
Arcilla (%)	17,0
Limo (%)	36,0
Arena (%)	47,0
Textura	Arenosa

Los análisis fueron efectuados según Westerman (1990).

capacidad de campo durante todo el experimento. Antes de iniciar el ensayo, cada maceta fue saturada con agua destilada y se dejó drenar durante 24h para obtener el valor de dicha constante hídrica y establecer así la cantidad de agua que se debía mantener en cada unidad experimental. Los riegos se hicieron cada tercer día con agua destilada, aplicando la cantidad de agua necesaria para mantener la capacidad de campo. Se buscó minimizar la lixiviación de solutos. La cantidad de agua consumida durante el ciclo del cultivo se infirió mediante la sumatoria de cada uno de los riegos parciales.

Medición de la biomasa aérea y raíces

A los 111 días posteriores a la siembra las plantas fueron cortadas 1cm por encima del suelo, cuando el grano se encontraba en estado lechoso a masoso, que es cuando al-

canza el equilibrio de máxima calidad y rendimiento de avena (Merlo y Robles, 1986). La biomasa aérea se secó en un horno a 65°C durante 48h y se pesó en una balanza digital de $200 \pm 0,01$ g de capacidad. La biomasa de raíces se obtuvo extrayendo el sistema radical de la maceta y pasándolo a través de un tamiz de malla 18 (1mm de abertura), eliminando el suelo adherido mediante lavado doble con agua destilada.

Evapotranspiración, solución de lavado y pH en sustrato

Al realizar la cosecha y antes de extraer la raíz, se aplicó una lámina de riego de 500ml, para sobrepasar la capacidad de campo y ocasionar un lavado del sustrato. La solución de lavado recogida fue congelada para posteriormente determinar la concentración de amonio por el método de Nessler (SMEWW, 1998) y de N-NO_3^- por el método de ácido cromotrópico (SMEWW, 1998). Al final del ciclo se obtuvieron muestras del sustrato de cada tratamiento, las cuales fueron analizadas para determinar valores de pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), amonio y Na^+ (Westerman, 1990). Los datos fueron sometidos a análisis de varianza, prueba de comparación de medias por Tukey y evaluación cuantitativa de la relación entre las variables estudiadas mediante la técnica de regresión (SAS, 2001), donde el valor del máximo coeficiente de determinación se empleó como criterio de selección de cada modelo reportado.

Resultados y Discusión

Efecto sobre la biomasa producida

La respuesta de la avena a la aplicación de Z_{CU} se presenta en la Figura 1, donde se compara el efecto de los tratamientos sobre la biomasa total, aérea y radical. Se observa que la respuesta del cultivo a la aplicación de zeolita fue de tipo hiperbólica, manifestán-

dose diferencias significativas en las distintas partes de la planta al aplicar Z_{CU} , aunque el máximo valor de producción de biomasa se alcanzó a partir de la aplicación de la mezcla de 20% de zeolita con el suelo. La Z_{CU} utilizada contiene $54,3 \text{ cmol}^+ \cdot \text{kg}^{-1}$ de Na^+ , lo que podría causar un efecto tóxico a la planta; sin embargo, aún en el tratamiento con 100% de Z_{CU} , tal efecto no se observó. En apoyo a lo anterior, en la Figura 2 se presenta la relación de la biomasa total con la biomasa de la parte aérea y de las raíces de la avena, sin distinción de cada uno de los tratamientos que se evaluaron. La tendencia observada revela que hubo diferencias entre la producción de biomasa en los distintos tratamientos, pero la relación alométrica de la biomasa total con la parte aérea y radical se mantuvo constante. Autores como Rodríguez (1993) han encontrado un comportamiento similar, indicando que este tipo de resultados es atribuible al efecto de la variable en estudio sobre la producción. De hecho, Mexal y Landis (1990) señalaron que si el medio donde se desarrollan los cultivos presenta limitaciones severas de humedad o nutricional, habrá una tendencia a un mayor crecimiento radical respecto al de la parte aérea, modificando dicho índice alométrico.

En la Figura 3 se presenta el efecto de los distintos tratamientos aplicados sobre la evapotranspiración acumulada hasta el momento de la cosecha de la avena. Los tratamientos utilizados repercutieron significativamente sobre el consumo de agua del cultivo sin que hubiese diferencias estadísticas al aplicar 10, 20 o 30% de Z_{CU} , lo cual es corroborado de manera independiente con la tendencia de tipo logarítmica ($R^2=0,87$) en el efecto de la Z_{CU} sobre la evapotranspiración del cultivo. Al respecto, Knowlton y White (1981) indicaron que la clinoptilolita (Z_{CP}) llega a tener una mayor capacidad de retención de agua que la arena, mientras

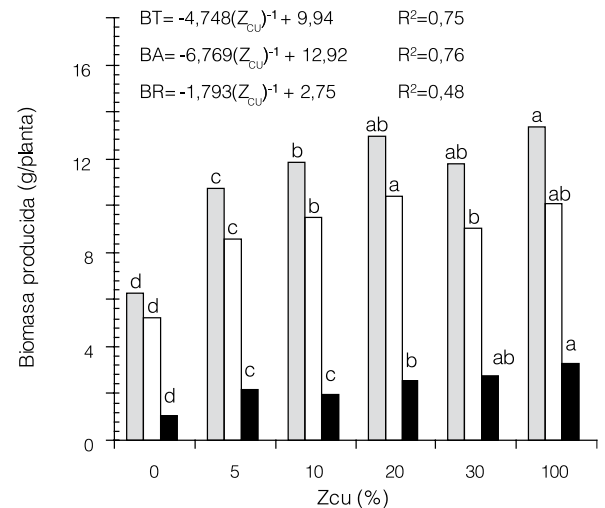


Figura 1. Respuesta de la biomasa total (BT), aérea (BA) y radical (BR) de la avena a la aplicación de diferentes concentraciones de zeolita (Z_{CU}). Barras con la misma letra por tipo de biomasa indican que no hay diferencia estadística entre ellas (Tukey $P \leq 0,05$).

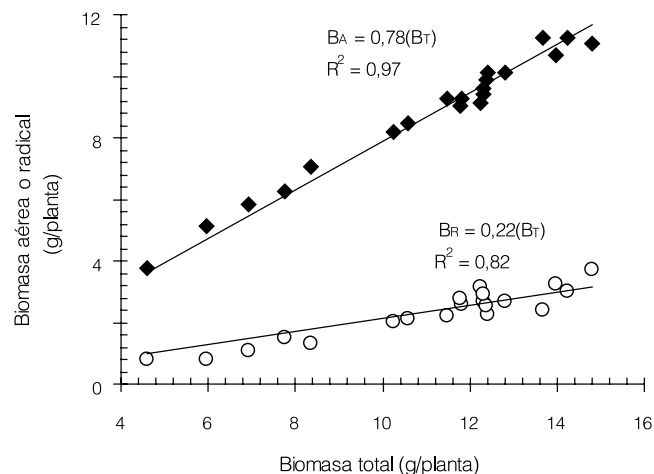


Figura 2. Relación de la biomasa total (B_T) con la biomasa aérea (B_A) y biomasa radical (B_R) de la avena en los distintos tratamientos evaluados.

que Huang y Petrovic (1994) reportaron que la cantidad de agua disponible para las plantas aumenta al incrementar la cantidad aplicada de Z_{CP} en 5 y 10% (peso) y que la tasa de evapotranspiración fue 6% superior en pastos crecidos en arena a la cual se le había agregado 10% (peso) de Z_{CP} .

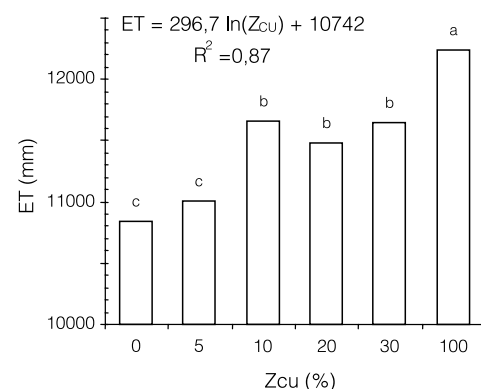


Figura 3. Efecto de la mezcla de zeolita (Z_{CU}) con suelo sobre la evapotranspiración acumulada (E_T) de las plantas de avena. Barras con la misma letra indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey $P \leq 0,05$).

En la Figura 4 se observa la relación cuantitativa entre la evapotranspiración (E_T) y la biomasa total y de las distintas partes de la planta. La tendencia positiva entre la E_T y el incremento en producción de biomasa de raíces (B_R), aérea (B_A) y total (B_T) fue significativamente mayor en los tratamientos con 10% de Z_{CU} o más, sin que hubiese diferencias estadísticas entre ellos, en comparación con aquellos donde se aplicó 0 o 5% de Z_{CU} , lo cual es congruente con la información presentada en la Figura 1. Por ello se puede colegir que una adición de 10% de Z_{CU} es suficiente para mejorar el rendimiento del cultivo, en contraste a lo que se obtiene sin la aplicación de este tipo de materiales.

Efecto sobre el ambiente químico edáfico

La relación entre la Z_{CU} aplicada y la CIC tuvo una tendencia de tipo logarítmica (Figura 5), donde se observó una diferencia significativa en la CIC entre los tratamientos con Z_{CU} y los que no se les agregó Z_{CU} . En este caso se descartó el tratamiento con 100% Z_{CU} para solo evaluar las proporciones donde se mezcló dicho mineral con el suelo. También se encontró que los cambios en la CIC se asociaron con la modificación de otros indicadores como es el caso del pH del medio de cultivo (Figura 6). De acuerdo a Ming y Allen (2001) es frecuente que el valor del pH del suelo se incremente cuando se mezcla con zeolita, como resultado del intercambio del amonio, Ca^{2+} y Na^+ que se establece con la solución del suelo, donde se forman radicales $-OH$. Dado que la Z_{CU} es sódica, también se apreció un incremento en la abundancia de este catión en el medio de cultivo, como lo muestra la Figura 7. Tendencias similares a las observadas en el presente experimento fueron reportadas por otros autores, como es el caso de Nishita y Haug (1972) y Pirela *et al.* (1983), aunque cabe indicar que en este caso

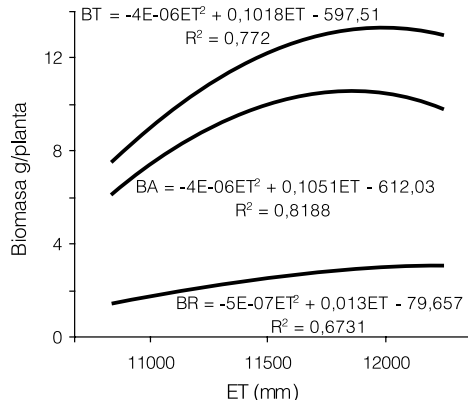


Figura 4. Relación de la biomasa total (BT), la biomasa aérea (BA) y biomasa radical (BR) de la avena con la evapotranspiración (ET) en los distintos tratamientos evaluados.

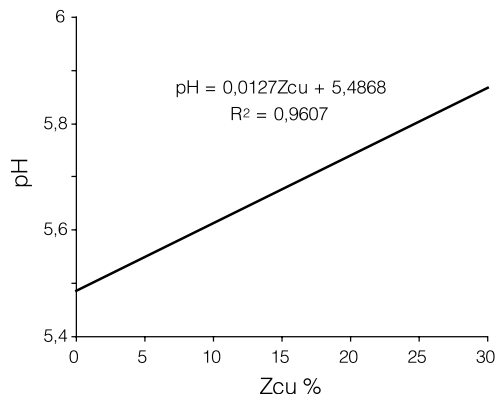


Figura 6. Efecto de la mezcla suelo-Zcu sobre el pH.

la cantidad de Na^+ presente en el medio de cultivo no tuvo un efecto negativo sobre la producción de biomasa.

En la Figura 8 se observa que la relación entre la CIC y la concentración de iones de nitrógeno en el suelo varió de manera inversa, esto es, en los tratamientos donde hubo mayor CIC, se presentó menor concentración de amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3^-). Resultados similares a los obtenidos en este trabajo fueron reportados por MacKown y Tucker (1985) y por Huang y Petrovic (1994),

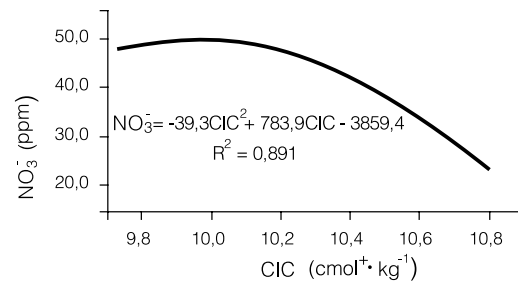


Figura 8. Relación entre la CIC y el contenido de NO_3^- como resultado de las diferentes mezclas suelo-Zcu.

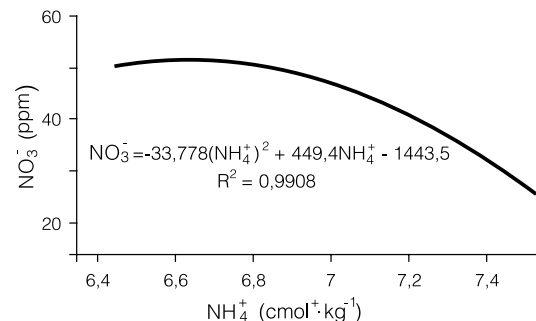


Figura 9. Relación entre el contenido de NH_4^+ y de NO_3^- como resultado de las diferentes mezclas suelo-Zcu.

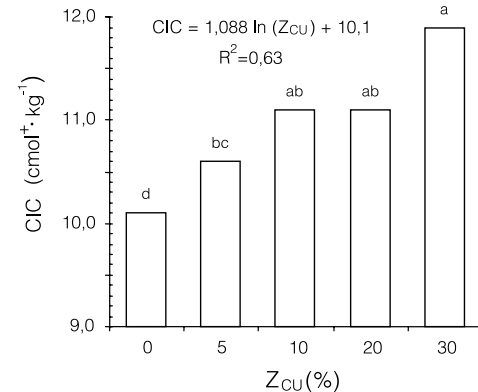


Figura 5. Efecto de la mezcla de zeolita (Z_{CU}) con el suelo sobre la CIC. Barras con la misma letra indican que no hay diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey $P \leq 0,05$).

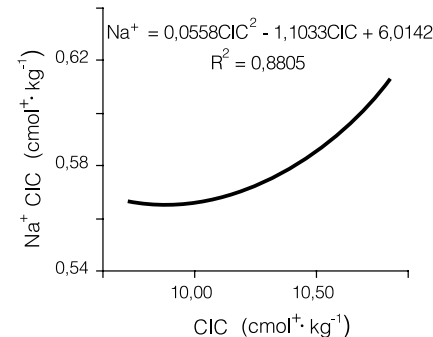


Figura 7. Tendencia de incremento en el Na^+ al variar la CIC como resultado de las diferentes mezclas suelo-Zcu.

quienes indicaron que la adición de Z_{CP} (10%) a suelos arenosos disminuye significativamente la cantidad de $N-NH_4^+$ en soluciones de lavado. En promedio, el contenido de NO_3^- medido fue mayor que el de NH_4^+ (7,0 y 43,5 mg l^{-1} , respectivamente), lo cual concuerda con lo reportado por Morton *et al.* (1988), quienes encontraron una mayor presencia de nitratos en soluciones de lavado. La tendencia obtenida entre la relación del (NH_4^+) del medio de cultivo y los (NO_3^-) lixiviados se muestra en la Figura 9. En un estudio similar al presente, Huang

y Petrovic (1994) determinaron que en arenas adicionadas con zeolita clinoptilolita (10%) disminuyó la concentración de NO_3^- en las soluciones de lavado, siendo proporcionalmente menor al incrementarse la concentración de nitrógeno aplicado. Consistente con lo reportado por dichos autores, se apreció una menor acumulación de $\text{NO}_3^-_{\text{LIX}}$ en relación a la cantidad de $\text{NH}_4^+_{\text{S}}$, lo cual es congruente con la menor disponibilidad de dicho catión que es susceptible de participar en el proceso de nitrificación.

Conclusiones

La aplicación de zeolita sódica (45% clinoptilolita y 55% mordenita) empleada en este estudio (Z_{CU}) tuvo un efecto positivo sobre la producción de la biomasa aérea, de raíces y total de la avena, sin que hubiese diferencias estadísticas en el rendimiento a partir de la adición de 10% de Z_{CU} .

El ambiente químico del medio de cultivo (mezcla de Z_{CU} con el suelo) fue modificado con los tratamientos aplicados, variando el pH, CIC y la concentración de NH_4^+ . La cantidad de NO_3^- en la solución lixiviada disminuyó significativamente respecto a la concentración de NH_4^+ en el sustrato, lo que apoya que la Z_{CU} tiene

capacidad para adsorber amonio y aminorar el proceso de nitrificación.

REFERENCIAS

- Allen E, Hossner L, Ming D, Henninger D (1996) Release rates of phosphorus, ammonium, and potassium in clinoptilolite-phosphate rock systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 1467-1472.
- Ando H, Mihara C, Kakuda K, Wada G (1996) The fate of ammonium nitrogen applied to flooded rice as affected by zeolite addition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 531-538.
- Barbarick K, Lai T, Eberl D (1990) Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudan-grass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 911-916.
- Challinor P, Fuller M, Parkinson J (1997) Growth and development of sweet pepper plants on unloaded and nutrient-loaded clinoptilolite zeolite. En 9th Int. Cong. Soilless Culture. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Wageningen, Holanda. pp 249-256.
- FAO (1988) Soil Map of the World: Revised Legend. World Soil Resources Report N° 60. FAO. Roma, Italia.
- Flores A, Bosch P, Lara V, Ordaz V, Cortés J, De León F (2003) Caracterización mineralógica y técnica de materiales zeolíticos naturales de uso comercial. *Soc. Española Mineral.* 26: 59-67.
- Huang Z, Petrovic A (1994) Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand bases golf green. *J. Env. Qual.* 23: 1190-1194.
- Knowlton G, White T (1981) Thermal study of types of water associated with clinoptilolite. *Clays Clay Min.* 29: 403-411.
- MacKown C, Tucker T (1985) Ammonium nitrogen movement in coarse-textured soil amended with zeolite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 235-238.
- Merlo C, Robles R (1986) Cultivo de la avena (*Avena sativa*). En Robles R (Ed.) *Producción de granos y forrajes*. Limusa. México. pp 267-284.
- Mexal JG, Landis TD (1990) Target Seedling Concepts: height and diameter. En *Target Seedlings Symposium: Western Forest Nursery Associations*. Oregon, EEUU. pp. 17-36.
- Ming, D, Allen E (2001) Use of natural zeolites in agronomy, horticulture, and environmental soil remediation. En Bish D, Ming D (Eds.) *Natural zeolites: Occurrence, properties, applications*. Rev. Mineral. Geochem. 45: 619-654.
- Mumpton FA (1983) Natural zeolites. En Pond WG, Mumpton FA (Eds.) *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview. Colorado, EEUU. pp 33-43.
- Nishita H, Haug RM (1972) Influence of clinoptilolite on Sr90 and Cs137 uptakes by plants. *Soil Sci.* 114: 149-157.
- Nus J, Brauen E (1991) Clinoptilolite zeolite an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. *Hort-Science* 26: 117-119.
- Pirela H, Westfall D, Barbarick K (1983) Use of clinoptilolite in combination with nitrogen fertilization to increase plant growth. En Pond WG, Mumpton FA (Eds.) *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview. Colorado, EEUU. pp.113-124.
- Pivert J, Lane S, Price D, Fuller M (1997) An examination of the re-use of clinoptilolite zeolite as a long term substrate for sweet pepper. En 9th Int. Cong. Soilless Culture. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Wageningen, Holanda. pp. 105-122.
- Rodríguez J (1993) *Fertilización de cultivos. Un método renovado*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. 293 pp.
- SAS (2001) *SAS User's Guide: Statistics*. 8th ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU. 558 pp.
- SMEWW (1998) Standard methods for examination of water and wastewater 20th ed. American Public Health Association/ American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington DC, EEUU. 1220 pp.
- Seff K (1996) What can be in the channels and cavities of zeolites? En Chon H, Woo SI, Park SE (Eds.) *Recent Advances and New Horizons in Zeolite Science and Technology*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 267-293.
- Westerman RL (1990) *Soil Testing and Plant Analysis*. Soil Science Society of America Book Series N° 3. Madison, WI, EEUU. 784 pp.